

**Artículo de Investigación**

**EVALUACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN EN ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CONVENCIONALES Y AUTOMATIZADAS**

Lester Ramírez (lester.ramirez@danac.org.ve)

Manuel Ávila (manuel.avila@danac.org.ve)

Jesús Alezones (jesus.alezones@danac.org.ve)

**Resumen**

En esta investigación se evaluó la confiabilidad de resultados en dos tipos de estaciones meteorológicas, la estación meteorológica automática (EMA), incorporada mediante un convenio Danac-INAMEH, frente a la estación meteorológica convencional (EMC), ubicada en Naranjal San Javier, estado Yaracuy, perteneciente al Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA), dispuesta en la Fundación para la Investigación Agrícola Danac. Se estableció un plan de verificación de datos, que inició con un patrón de comparación de los datos climáticos de las variables precipitación y evaporación, en función de los registros entre ambas estaciones, por un período de nueve meses. Utilizando estadísticamente un análisis de correlación, los resultados indicaron que la precipitación para un ámbito de registro de 0 a 28 mm, presentó una correlación no paramétrica de Spearman  $R^{\text{ho}}$  de  $r=0,95$  ( $p<0,01$ ), con una diferencia máxima de 3,1 mm entre ambas estaciones. La evaporación en un ámbito comprendido entre 1 y 12 mm, mostró una correlación de Pearson  $r=0,94$  ( $p<0,01$ ) y una diferencia máxima de 2,1 mm. Se presenta un estrecho margen de diferencia para las variables climatológicas estudiadas, por lo cual es posible obtener con la EMA resultados reproducibles a los equipos de medición convencional. El uso de estaciones automáticas presenta una ventaja sobre las convencionales a la hora de obtener información en tiempo real y de forma digital. Se concluye que en el periodo de evaluación entre ambas estaciones EMC y EMA presentaron resultados consistentes y reproducibles de las variables estudiadas.

**Palabras Clave:** Estación convencional, Estación automatizada, agroclimática, precipitación, evaporación.

**EVALUATION OF PRECIPITATION AND EVAPORATION IN CONVENTIONAL AND AUTOMATED CLIMATOLOGICAL STATIONS**

**Abstract**

This study evaluated the reliability of results in two types of meteorological stations, the Automatic Weather Station (EAMA), incorporated by means of a Danac-Inameh agreement, in front of the conventional meteorological station (ECCN), located in Naranjal San Javier, Yaracuy state, belonging to the Ministry of Popular Power for Ecosocialism and Water (MINEA), arranged in the Foundation for Agricultural Research Danac. A data verification plan was established, which began with a pattern of comparison of the climatic data of the variables precipitation and evaporation, according to the records between the two stations, for a period of nine months. Statistically using a correlation analysis, the results indicated that precipitation for a logging range of 0 to 28 mm showed a Spearman Rho non-parametric correlation of  $r = 0.95$  ( $p < 0.01$ ), with a maximum difference Of 3.1 mm between both stations. Evaporation in a range between 1 and 12 mm showed a Pearson correlation  $r = 0.94$  ( $p < 0.01$ ) and a maximum difference of 2.1 mm. There is a narrow margin of difference for the studied climatological variables, so it is possible to obtain reproducible results with the EAMA for conventional measurement equipment. The use of automatic stations presents an advantage over conventional ones in obtaining information in real time and in digital form. It is concluded that during the evaluation period between the two stations ECCN and EAMA presented consistent and reproducible results of the studied variables

**Keywords:** Conventional station, automated station, agroclimatic, precipitation, evaporation.

La información meteorológica resulta de gran utilidad en distintas disciplinas, los datos meteorológicos son indispensables para que los institutos de meteorología del mundo, puedan realizar predicciones más precisas (Ruiz, Savé y Bien, 2012). Los registros climatológicos continuos y sistemáticos permiten determinar la evolución en el tiempo de las variables climáticas de mayor importancia y los cambios y/o alteraciones generados en el clima. La observación de variables y fenómenos meteorológicos se lleva a cabo en estaciones meteorológicas convencionales (EMC) y estaciones meteorológicas automáticas (EMA).

Una EMC es una instalación, asistida por un observador capacitado (Boca, Gattinoni, Di Bella y Rebella, 2011), con características especiales donde se realizan mediciones, registros y observaciones puntuales de las diferentes variables climáticas que representan las condiciones de la atmósfera en un momento y lugar determinado, utilizando instrumentos adecuados para así poder describir o explicar el clima de una región (*Pollution Control Equipment Instruments [PCE Instruments]*, 2017). Provista de heliógrafo, anemómetro, veleta, pluviómetro, fluviógrafo, geotermómetros (termómetros de profundidad), nefobasímetro, visibilómetro, tanque de evaporación y abrigo meteorológico donde se ubican los termómetros de máxima y mínima, psicrómetro, evaporímetro Piché y termohigrógrafo (Observaciones Meteorológicas, 2017).

En las EMA, los datos de los parámetros meteorológicos como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, precipitaciones y otros, son leídos por medio de sensores electrónicos, y acondicionados, para luego ser procesados mediante la tecnología de

microcontroladores o microprocesadores, sin embargo, una vez instaladas es necesario verificar que estén calibradas, para asegurar la confiabilidad de los resultados generados, sobre todo cuando provienen de países de otras latitudes, donde su traslado y manejo pudieran ocasionar desajustes (Chassaigne, Ávila y Madriz, 2013), y transmitidos a través de un sistema de comunicación (radio, satélites, teléfono, entre otros) en forma automática las 24 horas, con un sistema de alimentación a través de energía solar (paneles solares), o mediante el uso de la energía eólica (Universidad Nacional de Asunción, 2016). En los últimos años, su uso ha experimentado un incremento significativo (Boca, Gattinoni, Di Bella y Rebella, (2011) y diferentes unidades de producción e instituciones de investigación han incorporado las EMA dentro de sus acciones.

El uso de estaciones meteorológicas automáticas representa una serie de ventajas: (a) Se pueden ubicar en lugares de difícil acceso, (b) Obtienen datos a pequeños intervalos de tiempo, (c) Reducen los errores humanos, por ejemplo, cuando un observador meteorológico registra la medida de un instrumento, esta medida está condicionada a cuan aguda sea su vista, (d) Disminuye costos de personal, aunque no los elimina, ya que es necesario hacer controles y calibraciones periódicas, y, en los casos de que la estación no transmita datos, se necesita personal para registrarlos (Observaciones Meteorológicas, 2017).

La EMA disminuye el requerimiento de mano de obra y genera nuevas aplicaciones que apoyan los procesos productivos, ocupa poco espacio, almacena y transfiere los datos del clima, lo cual permite valorar su comportamiento y posible impacto (Chassaigne et al., 2013). Algunas de las desventajas de EMA son: (a) Costo de implementación alto

(normalmente la inversión inicial), (b) Requiere personal capacitado para su manejo (quien la ocupe debe tomar un entrenamiento mínimo necesario para operarla), (c) Daños por terceros: La estación puede ser robada en el campo, o bien sus sensores pueden ser manipulados o abiertos por curiosos; es importante dejarla bien resguardada, además los pájaros pueden hacer sus nidos en la estación, obstruyendo los sensores, por lo que se recomienda hacer una limpieza general al menos 2 veces al año (Cartilla de Divulgación, 2017).

A pesar del potencial considerable de la EMA para proporcionar datos de alta frecuencia, así como otros datos procedentes de zonas alejadas, implica varios costos importantes, en particular los ocasionados por gastos en mano de obra para el mantenimiento de la misma, y, para garantizar su fiabilidad, la disponibilidad de mano de obra, la accesibilidad para su instalación y mantenimiento, la disponibilidad de fuentes de energía adecuadas, la seguridad del emplazamiento y la infraestructura para las comunicaciones. Estos aspectos deben sopesarse cuidadosamente frente a los beneficios importantes, tales como una red más densa y más amplia. De igual manera, pueden representar una alternativa convincente frente a los programas de observación dotados de personal y a veces constituyen la única opción, aunque su gestión requiere un firme compromiso organizativo (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2011).

Según la OMM (2011), la EMA puede ser utilizada para incrementar el número de observaciones meteorológicas, aumentar la densidad de una red de estaciones ya existente, para proveer datos, ya sea desde nuevos sitios, como de lugares de difícil acceso; o suplementar, en el caso de estaciones asistidas, los datos fuera de las horas de

trabajo normales; mejorar la fiabilidad de las mediciones utilizando sofisticada y moderna tecnología y mediciones digitales; asegurar la homogeneidad de la red de estaciones, y satisfacer nuevas necesidades y requerimientos observacionales y reportes con alta frecuencia y continuidad 24 h del día los 365 días del año.

De igual manera, los datos procedentes de la EMA, donde los instrumentos registran y transmiten observaciones automáticamente, normalmente se limitan a los que están fácilmente disponibles en forma digital, si bien, la gama de sensores es amplia y continúa evolucionando, dichas estaciones se han utilizado para complementar la labor de las estaciones dotadas de personal y para incrementar la densidad de las redes, informar de la frecuencia y la cantidad de elementos observados, especialmente en zonas alejadas y muy despobladas que difícilmente son accesibles por el hombre (OMM, 2011).

Es por ello, que Boca *et al.* (2011) aseguran que a pesar de su automatización, se requiere que las EMA sean asistidas por personal para poder detectar, por ejemplo, fallas de comunicación, de instrumentación y para poder actuar de forma ágil de manera tal que no se produzcan pérdidas de registros extensos. Este tipo de estación está formada por instrumentos meteorológicos y por una unidad central de adquisición de datos, la cual permite realizar mediciones durante las 24 horas. Para establecer el uso de una EMA como alternativa equivalente a una EMC, es necesario realizar previamente un estudio comparativo basado en una serie histórica de observaciones meteorológicas. La sustitución de los instrumentos del tipo manual por los automáticos debería efectuarse una vez que se haya realizado una evaluación simultánea de ambas series de datos; para que los nuevos valores registrados se acoplen a las series históricas.

Así mismo, Boca et al. (2011) afirman que para establecer el uso de una EMA como alternativa equivalente a una EMC, es necesario realizar previamente un estudio comparativo basado en una serie histórica de observaciones meteorológicas. Por tanto, la Comisión de Observación de Instrumentos y Métodos (2014) propone como intervalo mínimo tres años, en el cual funcionen los dos sistemas en paralelo. La sustitución de los instrumentos del tipo manual por los automáticos, debería efectuarse una vez que se haya realizado una evaluación simultánea de ambas series de datos; para que los nuevos valores registrados se acoplen a las series históricas. Se recomienda que al introducir nuevos sistemas de medición, los mismos sean suficientemente documentados para un adecuado conocimiento de sus características, alcances y algoritmos utilizados. Entre los aspectos a considerar se encuentran: (a) Ver acerca de la evaluación y validación de los sistemas automáticos; ver cuáles son las mejoras en la eficiencia de los nuevos sistemas, (b) Que la documentación y guías que sirvan como soporte a los usuarios estén suficientemente desarrolladas, (c) Que existan programas de mantenimiento y calibración adecuados de la EMA, (d) Desarrollar y aplicar métodos de uso masivo que permitan el funcionamiento conjunto de ambas observaciones generadas: la tradicional y la automática.

Por el contrario, cuando se trate de una estación automática que reemplaza a una manual que estuvo operando durante un periodo prolongado, debe existir suficiente superposición en las observaciones, las cuales dependen de las medidas de diferentes variables; a modo de guía se recomienda, lo siguiente: (a) Para velocidad y dirección del viento: 12 meses, (b) Temperatura, humedad, insolación y evaporación: 24 meses, (c) Precipitación: 60 meses,

operando en paralelo y comparando ambos, (d) Como regla general medir en forma superpuesta durante 24 meses, dos periodos estacionales, (e) Mantener la precisión de los datos en las estaciones automáticas, (f) Los requerimientos actuales y futuros de los usuarios de datos climáticos podrían definir la precisión en los criterios de captura de datos en las observaciones automáticas, (g) Capacitar a los usuarios particulares de datos para una correcta captura y uso de los datos de las EMA, (h) Estandarizar las variables meteorológicas provenientes de las EMA con un record mínimo y básico, como temperatura, precipitación, presión atmosférica y viento, entre otros.

En consecuencia, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh) en los últimos años ha trabajado en diferentes proyectos con el fin de actualizar la plataforma tecnológica para la recolección y gestión de datos meteorológicos mediante la sustitución de estaciones meteorológicas convencionales, ubicadas en diferentes zonas del país, por estaciones meteorológicas automáticas (EMA) (Agencia Venezolana de Noticias, 2013).

Asimismo, estos equipos cumplen una función primordial para la medición de aspectos como temperatura, precipitación, presión, velocidad, dirección del viento, humedad, temperaturas del subsuelo, así como también las mediciones del comportamiento de los ríos. Cada hora la información recogida por las estaciones es enviada por tecnología satelital hasta el Centro de Recolección de Datos del Inameh donde se procesa y se carga en la página web [www.inameh.gob.ve](http://www.inameh.gob.ve) para que pueda ser consultada. Con esta labor se generan los reportes de meteorología e hidrología, con los cuales se puede informar a la población venezolana sobre cualquier eventualidad con la finalidad de salvaguardar vidas

humanas y bienes materiales ante fenómenos meteorológicos. Las nuevas estaciones automáticas cuentan con tecnología de punta que no requiere la presencia directa de un operador y permite mantener información en tiempo real por medio del Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES, Inameh, 2016).

Por todo lo anterior, se definió como objetivo general en la presente investigación evaluar un patrón de comparación de los datos climáticos de las variables precipitación y evaporación, arrojados por la EMA perteneciente a la red de estaciones del Inameh, frente a los de la Estación Climatológica Convencional Naranjal perteneciente al Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MINEA) (ECCN), ubicadas en la sede de Fundación para Investigación Agrícola Danac ubicadas en San Felipe estado Yaracuy.

### **Materiales y Métodos**

La observación meteorológica está influenciada por una variedad de prácticas observacionales. El dato depende del instrumento, la exposición del mismo, el procedimiento de almacenamiento entre otras; en esta investigación se estableció un plan de verificación de datos, que inició con un patrón de comparación de los datos climáticos de las variables precipitación y evaporación, en función de los registros entre dos (02) estaciones meteorológicas. Se utilizó una estación meteorológica tipo A (Estación Climatológica Convencional Naranjal, ECCN), la cual registra la lluvia (cantidad, duración e intensidad), la temperatura (máxima y mínima), la humedad relativa, el viento (dirección, recorrido y ráfaga máxima), la radiación y las horas de sol en registro gráfico continuo; y, una estación Agrometeorológica automática de primer orden tipo A (Estación Agrometeorológica Naranjal

Danac), la cual registra temperatura (máxima y mínima) a 2 y 10 metros, precipitación (cantidad, duración e intensidad), humedad relativa (máxima y mínima) a 2 y 10 metros, viento dirección, velocidad (máxima y mínima) y pista de viento a 2 y 10 metros, punto de rocío, radiación solar, insolación, temperatura del suelo (0, 5, 10, 20, 50, 100 cm ), radiación fotosintética activa, evaporación, temperatura del agua de la tina y humedad del suelo.

### **Estaciones Climatológicas**

El lugar en donde se realiza la evaluación de uno o varios elementos meteorológicos se denomina Estación Climatológica, estas se clasifican en varios tipos según los objetivos y los parámetros que se desee medir, entre las principales podemos citar las siguientes: (a) Climatológicas, (b) Agrometeorológicas, (c) Sinópticas, de superficie y en altitud, (d) Aeronáuticas, y (e) Especiales. De igual manera deben utilizarse instrumentos con características operacionales y exactitud análogas con enfoques uniformes en lo referente al mantenimiento y calibración. La función de las estaciones meteorológicas es el análisis y las predicciones meteorológicas, para la investigación del clima que tenga una representatividad, en otras palabras que indique cuanta área podrían representar los datos recolectados.

**Estación Climatológica “Naranjal”.** Está ubicada en las instalaciones de Fundación para la Investigación Agrícola Danac en San Javier San Felipe Estado Yaracuy, a 9,5 km al suroeste de la ciudad, a una elevación sobre el nivel del mar de 107 metros, latitud 10° 21' 50.31" N y longitud 68° 39' 15.42" W (Figura 1). Fue instalada en el año 1988 siendo la segunda más antigua en el estado Yaracuy, pertenece al MINEA y es clasificada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), como una estación tipo A

ya que registra la lluvia (cantidad, duración e intensidad), la temperatura (máxima y mínima), la humedad relativa, el viento (dirección, recorrido y ráfaga máxima), la radiación y las horas de sol en registro gráfico continuo. Además, observaciones

directas de la evaporación y la temperatura del suelo. La estación pertenece a una zona de vida de bosque seco tropical, con 1352,2 mm de precipitación anual en promedio y una temperatura media de 25,8 °C.



Figura 1. Estación Climatológica Convencional Naranjal (ECCN). Fuente: Los autores (2017).

**Estación Agrometeorológica “Naranjal Danac”.** Está estación perteneciente a la Red de Estaciones automáticas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Inameh), se encuentra ubicada dentro de la Estación Meteorológica Naranjal latitud 10° 21' 45.51" N y longitud 68° 39' 25.22" W (Figura 2). Fue instalada en el año 2015 a través del convenio interinstitucional Fundación Danac-Inameh, con el objetivo de hacer seguimiento a los principales elementos climáticos como apoyo a las actividades de investigación científica desarrolladas en esta institución. Es una estación agroclimática de superficie, portátil clasificada como una estación de

primer orden tipo A, la misma cuenta con 16 sensores ubicados a diferentes alturas de la superficie del suelo, capaz de registrar cada 5 minutos los siguientes elementos climáticos: temperatura (máxima y mínima) a 2 y 10 metros, precipitación (cantidad, duración e intensidad), humedad relativa (máxima y mínima) a 2 y 10 metros, viento dirección, velocidad (máxima y mínima) y pista de viento a 2 y 10 metros, punto de rocío, radiación solar, insolación, temperatura del suelo (0, 5, 10, 20, 50, 100 cm), radiación fotosintética activa, evaporación, temperatura del agua de la tina y humedad del suelo.





Figura 2. Estación Agrometeorológica Automática (EAMA). Fuente: Los autores (2017)



Figura 3. Pluviómetro Convencional tipo Hellmann - 994 de ECCN. Fuente: Los autores (2017).

### Recolección de los datos climáticos

Para ambas estaciones, se recopilaron los datos de precipitación y evaporación en una serie de nueve meses consecutivos (Septiembre 2015-May 2016).

### Equipos Utilizados y registro de datos

La investigación se realizó con los siguientes equipos:

**Pluviómetro tipo Hellmann - 994** Monasterio et al. (2008) lo describen como un cilindro cuya “boca” receptora mide  $200 \text{ cm}^2$ . Posee además un anillo de bronce con borde biselado en la parte superior, unido a este, cuyo fondo tiene forma de embudo y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro. El agua recogida pasa por el embudo a una vasija de “boca” estrecha llamada colector, aislada del cilindro exterior para evitar la evaporación por calentamiento (Figura 3). El pluviómetro tipo Hellmann modelo 994 presenta las siguientes

características: capacidad  $200 \text{ l/m}^2$ , superficie recolectora  $200 \text{ cm}^2$ , dimensiones  $420 \times 180 \text{ mm}$ , diámetro de la boca receptora  $15,96 \text{ cm}$ , largo  $48 \text{ cm}$ , peso  $1,48 \text{ kg}$ .

**Registros.** Los datos de precipitación del pluviómetro Hellmann 994, se capturaron de forma manual por un observador meteorológico disponible en Fundación Danac, para determinar la cantidad de agua precipitada se contó con la ayuda de un cilindro graduado de  $200 \text{ cm}$  (Figura 3). La hora de recolección del dato fue a las 7:30 am, conforme a lo descrito por WMO (2011), el cual indica que las horas de observación en las estaciones climatológicas ordinarias y en las pluviométricas, las observaciones deberían hacerse como mínimo una vez al día (aunque preferiblemente dos veces) en horas fijas que permanezcan inalteradas durante todo el año. Si las condiciones dictaminaran que solo es posible una observación al día, esta deberá ser hecha entre las

07.00 y las 09.00 hora local normal. Por otra parte los días de recolección del dato climático estuvieron comprendidos de lunes a jueves transcurridas 24 horas entre cada observación.

#### **Pluviómetro digital Sutron 5600-0525.**

Instrumento de precisión estándar para la medición de acumulación y/o medición de agua de lluvia, en su interior posee un balancín modelo PS-3150, el cual registra automáticamente mediante un pulso

electromagnético la precipitación acumulada en intervalos de tiempo de 5 minutos (Figura 4). El pluviómetro digital marca Sutron modelo 5600-0525 tiene las siguientes características: diámetro de la boca receptora 20 cm, superficie recolectora 314 cm<sup>2</sup>, exactitud  $\pm 0.5\%$  a 1,25 pulgadas/ hora (3,175 cm/hora)  $\pm 2\%$  a 10 pulgadas /hora (25,4 cm/h, largo 48,25 cm, diámetro 20,95 cm, peso 2,9 kg (Sutron, 2017).



Figura 4. Pluviómetro Digital Sutron 5600-0525 de EAMA. Fuente: Los autores (2017).

**Registros.** Los datos de precipitación se recolectaron con la ayuda de un pluviómetro digital marca Sutron modelo 5600-0525 perteneciente al Inameh, los cuales se capturaron de forma automática con un sensor electrónico con forma de balancín modelo PS-3150 (Figura 4). Este sensor permite registrar los datos en un intervalo de tiempo de 5 minutos lo que garantiza una exactitud de  $\pm 0.5\%$ , los datos quedan almacenados en una memoria interna o Datalogger marca Sutron, modelo 9210 *XLite* los cuales son transmitidos vía satélite cada hora quedando disponibles al público en la página de monitoreo de estaciones del Inameh, o mediante descarga directa con conexión ETH.

#### **Tanque Evaporímetro tipo A Convencional.**

El tanque de evaporación es un recipiente circular de chapa galvanizada o de acero inoxidable, colocado sobre una tarima de madera que tenga aberturas para una buena ventilación (Figura 5). Le acompañan, como accesorios principales: el sistema medidor compuesto de un pozo tranquilizante y un tornillo con gancho (tornillo limnimétrico), enroscado en su armadura y apoyado sobre el pozo tranquilizante (Peña, 2017). El tanque evaporímetro tipo A presenta las siguientes características: material acero inoxidable, espesor de la pared 0,119 cm, diámetro interno 120,4 cm, volumen 291 l, peso 22 kg y altura de 25 cm.



**Registros.** Los datos de evaporación se recolectaron en un tanque evaporímetro convencional clase A, y con la ayuda de un observador meteorológico disponible en la institución se llevaron los registros manualmente, para determinar la cantidad de agua evaporada se utilizó un tornillo limnimétrico el cual posee una escala diseñada en el vástago del mismo expresada en milímetros la cual determina la cantidad de agua que se perdió a la atmosfera por acción directa de la radiación, insolación, vientos, humedad relativa entre otros (Figura 5). La hora de recolección del dato fue a las 7:30 am, de lunes a jueves transcurridas 24 horas entre cada observación.

**Tanque Evaporímetro tipo A Automático 255-200.** La tina clase A (*Novalynx*) es un tanque estándar

para la medición de la evaporación del agua. Normalmente se instala en una plataforma de madera fijado en el suelo en un lugar cubierto de hierba. La bandeja se llena de agua y se expone a representar un cuerpo de agua. La tina de evaporación se llena hasta dentro de 6,45 cm de la parte superior del tanque (Figura 6). La velocidad de evaporación se puede medir por lecturas manuales o con un medidor de la evaporación de salida analógica (Stevens, 2017). El tanque evaporímetro tipo A automático presenta las siguientes características: modelo 255-200 (*Novalynx*), material acero inoxidable calibre 18 volumen 291 l, diámetro interno 120, 6 cm, peso 22 kg y altura de 25 cm y espesor de la pared 0,119 cm (Campbell Scientific, 2017).



Figura 5. Tina de Evaporación Convencional Tipo A de ECCN. Fuente: Los autores (2017).



Figura 6. Tina de Evaporación Automática Tipo A de la (EAMA). Fuente: Los autores (2017).

**Sensor de evaporación Gauge 255-100.** El evaporímetro tiene acoplado un sensor para determinar la velocidad de evaporación midiendo el nivel de agua cambiante en un tanque de evaporación. El sensor consiste en un flotador, polea, y el contrapeso unido a una precisión de 1000 ohm potenciómetro montado en una carcasa resistente a la intemperie. La placa de base triangular está equipada con tres tornillos de nivelación (Figura 7). El potenciómetro pro-

duce una salida de resistencia proporcional a la posición del flotador que se puede monitorizar en el sitio usando un registrador de datos o remotamente por equipo de telemetría (*Novalynx*, 2017).

El sensor de evaporación Gauge presenta las siguientes características: modelo 255-100 (*Novalynx*, USA), altura (700 mm), diámetro (203 mm), peso (3,4 kg), cable 50' de 3-conductor, 24 AWG, apantallado, 4" diámetro, el plástico, contrapeso (114 g), de

acero inoxidable, puerto de entrada de agua 1/2" de acoplamiento NPT, hembra, dimensiones de la base (40,6 cm) triángulo con tornillos de nivelación, resolución total (0,76 mm), precisión 0,25%, rotación, 360° continuo, ángulo eléctrico 340°,  $\pm 1^\circ$  (20° bre-

cha), resistencia 1000 ohmios,  $\pm 10\%$ , temperatura de funcionamiento  $-40^\circ$  a  $+60^\circ$  C, linealidad 0,25%, gama mecánica 0 a 10" (0-254 mm), gama eléctrica: 0-9,44" (0-240 mm) (Manuales Directorio, 2017).

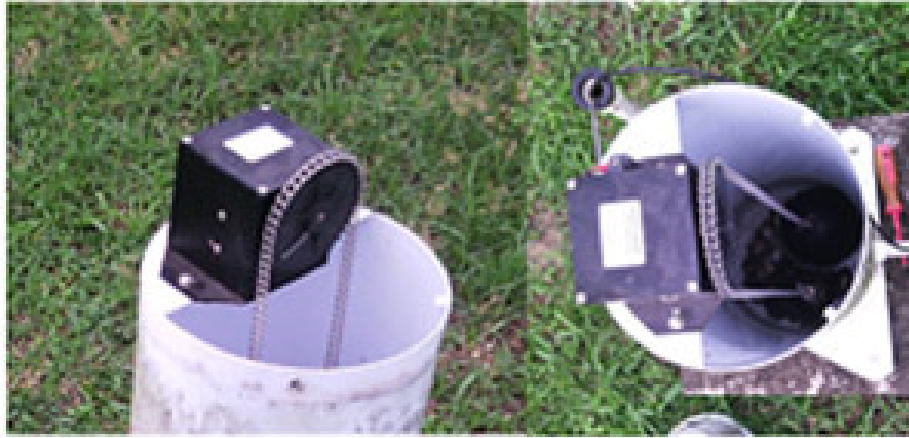


Figura 7. Sensor de evaporación Gauge 255-100 de EAMA. Fuente: Los autores (2017)

**Registros.** Los datos de evaporación se recolectaron con la ayuda de un tanque evaporímetro automático clase A marca Sutron, modelo 255-200, perteneciente al Inameh, los cuales se capturaron de forma automática con un sensor electrónico marca NovalyNX, modelo Gauge 255-100, el cual consiste en un flotador, polea, y contrapeso unidos a un potenciómetro que regula la cantidad de agua que se pierde o que ingresa al tanque (Figura 7). Este sensor permite registrar los datos en un intervalo de tiempo de 1 hora lo con una exactitud de  $\pm 0,25\%$ , los datos quedan almacenados en una memoria interna o Data-logger marca Sutron, modelo 9210 XLite los cuales son transmitidos vía satélite cada hora quedando disponibles al público en la página de monitoreo de estaciones del Inameh, o mediante descarga directa con conexión ETH

**Análisis de los registros.** Se realizó un análisis estadístico descriptivo mediante estadística descripti-

va, también se aplicaron pruebas de bondad de ajuste a distribución normal Shapiro-Wilks, comparación pareadas de diferencias absolutas de t-Student, correlaciones de Spearman Rho y Pearson, a fin de establecer similitudes y diferencias para las variables de precipitación y evaporación, utilizando los programas de Excel® (Microsoft, USA) 2010 y JMP® versión 7.0.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

### Análisis y Resultados

Después de evaluar el patrón de comparación de los datos climáticos de las variables precipitación y evaporación, proyectados por la EMA perteneciente a la red de estaciones del Inameh, frente a los de la Estación Climatológica Convencional Naranjal (ECCN) perteneciente al MINEA, dispuesta en la sede de Fundación para Investigación Agrícola Danac ubicada en San Felipe estado Yaracuy, realizamos el siguiente análisis:

## Precipitación

**Distribución de registros de precipitación.** Los valores de precipitación estuvieron definidos en un rango comprendido entre 0,00 y 28,00 mm. Al evaluar la distribución de datos de precipitación de ambas estaciones pluviométricas, se encontró que las mismas presentaron una distribución no ajustada a la

normalidad, conforme el estadístico de bondad de ajuste de Shapiro-Wilks, el cual alcanzó un valor de 0,72 ( $p < 0,01$ ). El histograma de frecuencias confirma una distribución diferente al comportamiento gaussiano característico de una distribución normal (Figura 8).

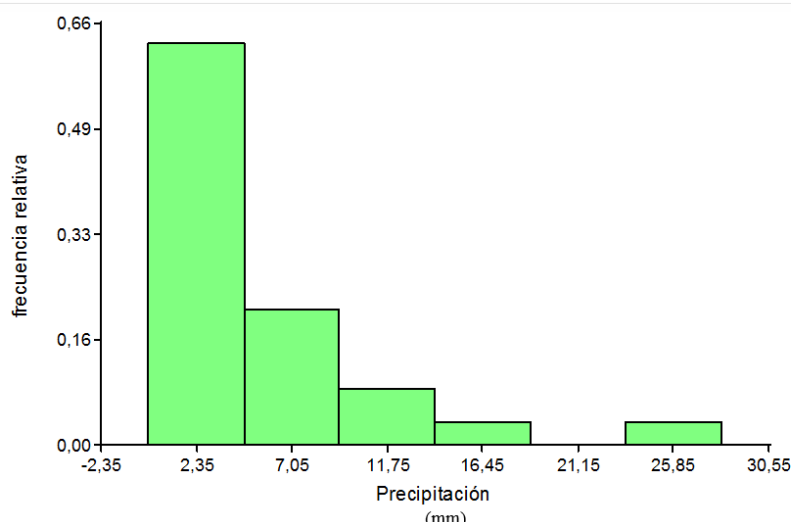


Figura 8. Histograma de precipitación. Fuente: Los autores (2017)

**Comparación de registros de precipitación.** En la Tabla 1 se presenta la estadística descriptiva de los registros de precipitación de las estaciones durante el período bajo estudio. Las medidas de tendencia central así como el error típico presentaron una diferencia máxima entre estaciones de 0,2 y 0,02%, respectivamente. Al respecto, EMA presentó mayor promedio y mediana y menor error típico con respecto a

la EMC. Las medidas de dispersión entre estaciones, presentaron una máxima diferencia en la varianza la cual alcanzó un valor de 1,84%. Por otra parte, la EMC presentó mayores niveles de desviación estándar, varianza y precipitación máxima, con respecto a las EMA. La precipitación acumulada presentó una diferencia de 6,6 mm entre estaciones, siendo superior en EMA con respecto a EMC.

Tabla 1. Estadística descriptiva de los valores de precipitación para la EMC y EMA

Estadístico	EMC	EMA
Media	4,43	4,55
Error típico	0,84	0,82
Mediana	1,25	1,40
Desviación estándar	6,29	6,14
Varianza	39,53	37,69
Rango	28,20	27,60
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	28,20	27,60
Suma (Precipitación acumulada)	248,00	254,60
Registros	57	57

Fuente: Los autores (2017)

La prueba de comparación t student a partir de la diferencia absoluta entre los valores de precipitación de las estaciones por día resultó en un valor de 1,12 no significativo ( $p>0,26$ ). El coeficiente de correlación de Spearman Rho fue de 0,95 ( $p<0,01$ ), indicativo de que los datos de ambas estaciones

presentaron un elevado grano de asociación positiva. En la Figura 9 se pudo evidenciar el comportamiento similar de los registros de precipitación de las estaciones, donde la máxima diferencia en registros diarios fue de 3,10 mm.

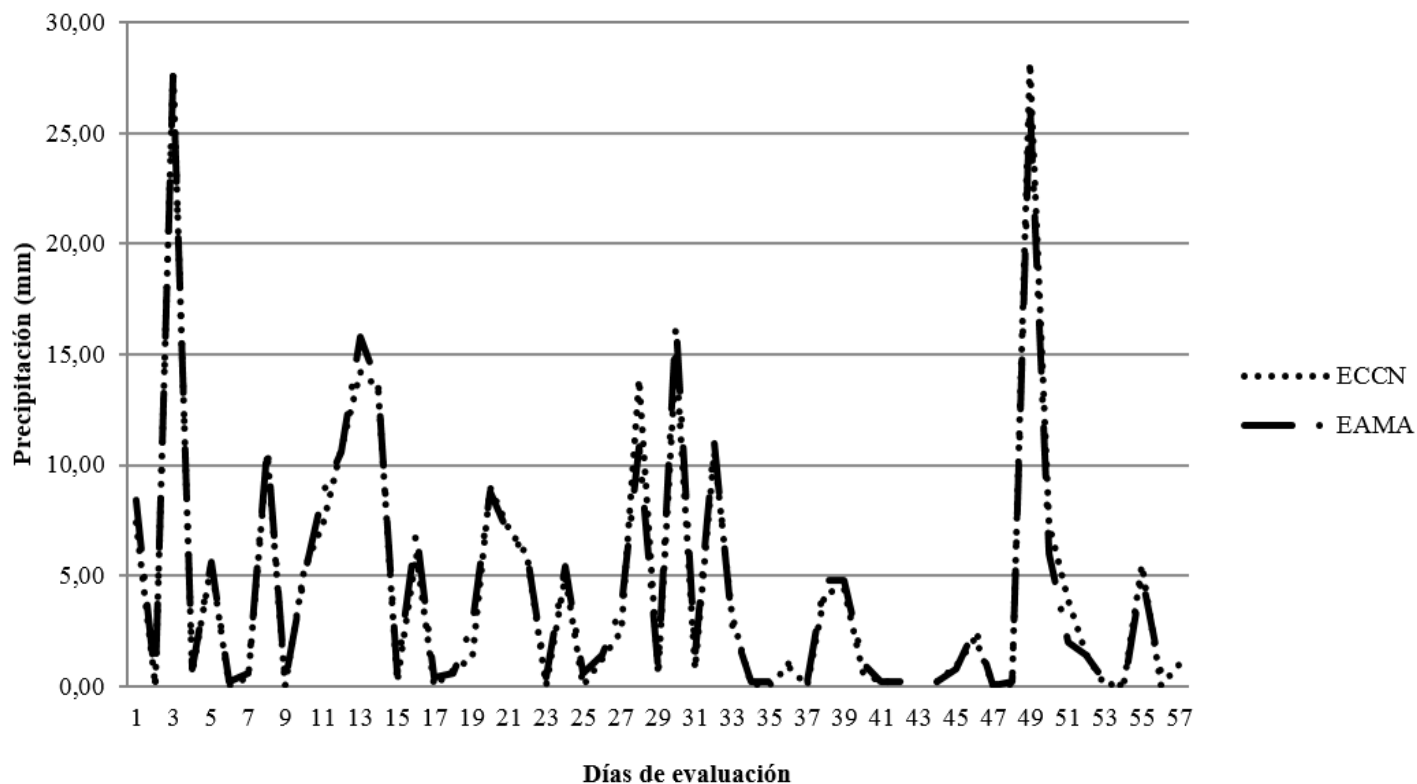


Figura 9. Representación de la curva de precipitación registrada por la estación convencional y la estación automática, donde se puede evidenciar que el margen de mayor amplitud entre ambas estaciones fue 3,1 mm el día 28. Fuente: Los autores (2017).

## Evaporación

**Distribución de registros de evaporación.** La evaporación se estableció en un ámbito comprendido entre 1 y 12 mm. La distribución de estos datos en ambas estaciones presentaron una distribución ajusta-

da a la normalidad de acuerdo a la bondad de ajuste de Shapiro-Wilks, el cual alcanzó un valor de 0,98 no significativo ( $p=0,32$ ). El histograma de frecuencias evidenció distribución aproximada a una distribución normal (Figura 10).

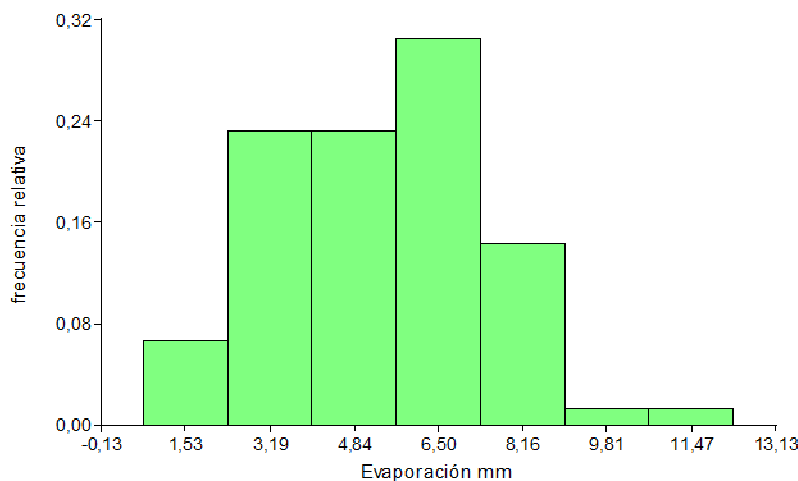


Figura 10. Histograma de evaporación. Fuente: Los autores (2017).

**Comparación de registros de evaporación.** En la Tabla 2 se presenta un resumen estadístico de la evaporación de las estaciones, donde se pudo evidenciar que los promedios de evaporación fueron equivalentes. El resto de medidas de tendencia central, así como el error típico y las medidas de dispersión presentaron una diferencia máxima para el rango (máximo - mínimo) con un valor de 0,20%. La EMA presentó valores superiores en la mayoría de los estadísticos evaluados con respecto a la EMC. La evaporación acumulada durante el estudio presentó una diferencia de 0,65 mm entre estaciones, siendo superior

en EMA con respecto a EMC.

Al comparar las diferencias absolutas de los registros diarios de ambas estaciones, mediante la prueba pareada t-student, estas presentaron un valor de 0,20 no significativo ( $p > 0,83$ ). El coeficiente de correlación de Pearson fue elevado (0,94) y significativo ( $p < 0,01$ ), indicativo de una alta asociación positiva entre las mediciones realizadas por ambos equipos. En la Figura 10 se puede evidenciar el comportamiento consistente entre los registros de evaporación de ambas estaciones, donde la máxima entre registros diarios fue de 3,00 mm.

Tabla 2. *Estadística descriptiva de los valores de evaporación para la EMC y EMA*

<i>Estadístico</i>	<i>EMC</i>	<i>EMA</i>
Media	5,33	5,33
Error típico	0,22	0,23
Mediana	5,36	5,45
Desviación estándar	2,06	2,09
Varianza de la muestra	4,25	4,36
Rango	11,10	11,30
Mínimo	0,74	1,00
Máximo	11,84	12,30
Suma (precipitación acumulada)	447,48	448,13
Cuenta	84	84

Fuente: los autores, (2017)

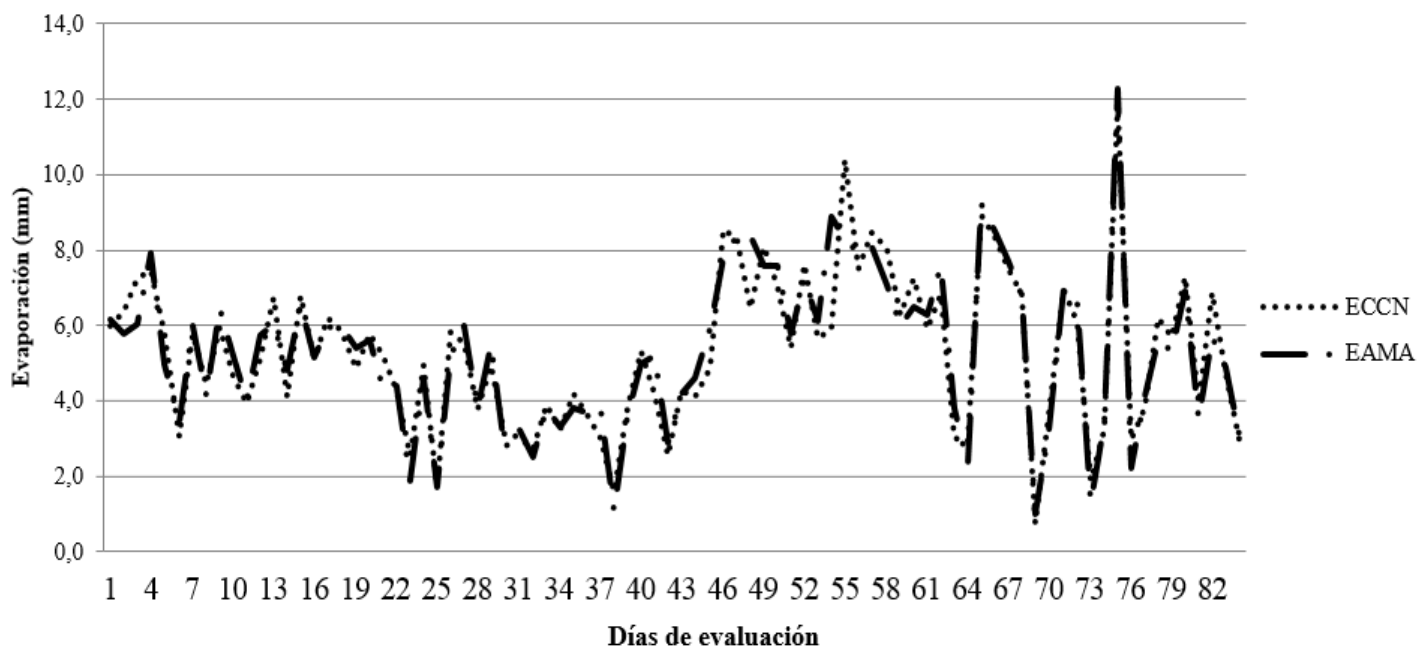


Figura 11. Representación de la curva de evaporación registrada por la estación convencional y la estación automática, donde se puede evidenciar que el margen de mayor amplitud entre ambas estaciones fue 3 mm el día 54. Fuente: Los autores (2017).

## Discusión y Conclusiones

Las diferencias de precipitación encontradas en ambas estaciones resultaron comparables a las máximas diferencias obtenidas por Chassaigne et al. (2013) quienes encontraron en un estudio de comparación entre estaciones automáticas y convencionales, una diferencia máxima de 3,00 mm. Por otra parte, resultaron inferiores a las diferencias de 5,77 mm encontradas Gattinoni, et al. (2011) entre estaciones convencionales y las automáticas Campbell.

En evaporación, no se encontraron estudios que permitan comparar nuestros resultados, sin embargo se pudo evidenciar que los promedios presentaron valores similares, mientras que las medidas de dispersión indicaron y evaporación acumulada de la EMA fue ligeramente superior con respecto a los valores obtenidos con la EMC. Lo anterior es

indicativo de una adecuada reproducibilidad entre ambos equipos.

Se concluye que en el periodo de evaluación entre ambas estaciones EMC y EMA presentaron resultados consistentes de precipitación y evaporación, lo cual posibilitó validar la reproducibilidad de la EMA con respecto a la estación convencional utilizada como instrumento de referencia para rangos de precipitación y evaporación de 0,00-28,00 mm y de 0,74-12,30 mm

Se recomienda extender por un año el periodo de comparación entre ambas estaciones, con el fin de obtener más datos que permitan ampliar los rangos de medición de los equipos y determinar la confiabilidad de las EMAs. Por otra parte, es necesario verificar el resto de las variables climáticas y reproducir este tipo de prueba en otras localidades y verificar el comportamiento de las EMAs frente a las convencionales.



## Referencias Bibliográficas

- Agencia Venezolana de Noticias. (2013). *INAMEH actualiza plataforma tecnológica*. Recuperado de <https://goo.gl/rF7S6S>
- Boca, T., Gattinoni, N., Di Bella, C., y Rebella, C. (2011). Comparación entre observaciones meteorológicas obtenidas de estaciones convencionales y automáticas a partir de la estimación de parámetros estadísticos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 37(1), 75-85. Recuperado de <https://goo.gl/ZxFjIY>
- Campbell Scientific. (2017). *Características del tanque de evaporación pan*. Recuperado de <https://goo.gl/UqIm6e>
- Cartilla de divulgación. (2017). *Estaciones Meteorológicas Automáticas*. (nº 02). Recuperado de <https://goo.gl/QZt7YZ>
- Chassaigne, A., Ávila, M., y Madriz, J. (2013). Calibración de pluviómetro y termohigrómetros de estaciones meteorológicas automáticas. *Agronomía Tropical*, 63(3-4), 185-192. Recuperado de <https://goo.gl/fGZE8b>
- Comisión de Observación de Instrumentos y Métodos. (2014). *Sistema mundial integrado de sistemas de observación*. (Versión 0.8). Recuperado de <https://goo.gl/yZXHRz>
- Gattinoni, N; Boca, T; Rebella, C; Di Bella, C. (2011). *Comparación de dos variables climáticas: temperatura y precipitación, registradas en dos Estaciones Agro meteorológicas del norte de Nicaragua en el período 2009 - 2011*. Recuperado de <https://goo.gl/LC1Kg1>
- Manuales Directorio. (2017). *Especificaciones - Campbell Scientific 255-100 Novalynx analógico evaporación de salida Manual del usuario Medidor*. Recuperado de <https://goo.gl/ApZhFY>
- Monasterio, P., Pierre, F., Barreto, T., Alejos, G., Maturat, W., y Tablante, J. (2008). El pluviómetro artesanal: una manera práctica de medir la precipitación. *INIA Divulga*, 48(11). Recuperado de <https://goo.gl/iHZjNu>
- Novalynx. (2017). *255-100 Gauge evaporación salida analógica*. Recuperado de <https://goo.gl/gp58jC>
- Observaciones Meteorológicas. (2017). *Ventajas de las estaciones meteorológicas automáticas*. Recuperado de <https://goo.gl/HHu0Lq>
- Pollution Control Equipment. PCE Inst. (2017). *Estación meteorológica convencional*. Recuperado de <https://goo.gl/rD48d>
- Peña, O. (2006). *El Tanque de Evaporación tipo "A"*. Recuperado de <https://goo.gl/BlxOyb>
- Prensa INAMEH. (19-08-2016). *INAMEH moderniza estaciones hidrometeorológicos en Mérida*. Recuperado de <https://goo.gl/7p856S>
- Ruiz, V., Savé, R., y Biel, C. (2012). Comparación de dos variables climáticas: temperatura y precipitación, registradas en dos Estaciones Agro meteorológicas del norte de Nicaragua en el período 2009 - 2011. *Revista Científica de FAREM Estelí*, 1(2), 10-15. Recuperado de <https://goo.gl/LC1Kg1>
- Stevens. (2017). *La evaporación Pan*. Recuperado de <https://goo.gl/gZoJfL>
- Sutron. (2017). *Sensor de Precipitation 5600-0525*. Recuperado de <https://goo.gl/oBChT1>
- Universidad Nacional de Asunción. (2016). *Facultad Politécnica*. Recuperado de <https://goo.gl/bP5ZPS>
- World Meteorological Organization. (2011). *Guide to meteorological instruments and methods observations*. (8) (7º ed.), Génova. Recuperado de <https://goo.gl/ZxFjIY>
- World Meteorological Organization. (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. (No 100), Ginebra. Recuperado de <https://goo.gl/hupgHV>